

明 細 書

シンボル点推定装置、方法、プログラムおよび記録媒体

5 技術分野

本発明は、信号のシンボル点の推定に関する。

背景技術

従来より、受信信号の復調および受信信号の変調解析が行なわれて
10 いる。この際、信号のシンボル点を正確に測定する必要がある。受信
信号のシンボル点の測定は、(1) 受信信号のA/D変換、(2) ノイ
ズ除去のためにフィルタを通す、(3) シンボルレート成分の取り出し、
(4) 位相の計算、(5) 位相の時間遅延量への変換、といった工程を
必要とする(例えば、特許文献1(特開2003-152816号公
15 報)を参照)。

しかしながら、上記のような従来技術においては、ノイズ除去のた
めのフィルタが受信信号の周波数特性に悪影響を及ぼすようなもので
あった場合、信号のシンボル点の測定が正確には行なえない。しかも、
20 エイリアジング防止のため、受信信号のA/D変換の際にはオーバー
サンプリングを行なう必要がある。このため、受信信号をA/D変換
したものを記録するために必要なメモリ容量が大きくなってしまう。

そこで、本発明は、受信信号のシンボル点の測定を、より正確に行
25 なうことを課題とする。

発明の開示

本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定装置であって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力手段と、乗算積和出力手段の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定手段とを備えるように構成される。

上記のように構成されたシンボル点推定装置によれば、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定装置が提供される。

乗算積和出力手段は、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する。時間遅延値決定手段は、乗算積和出力手段の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する。

前記本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、乗算積和出力手段は、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果を出力する周波数成分乗算出力手段と、周波数成分乗算出力手段の出力とサンプリング角周波数との積和を出力する積和出

3

力手段とを有するように構成できる。

前記本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、周波数成分乗算出力手段は、理想信号の周波数成分を出力する理想信号周波数成分出力手段と、受信信号の周波数成分を出力する受信信号周波数成分出力手段と、理想信号周波数成分出力手段の出力の複素共役を出力する複素共役出力手段と、複素共役出力手段の出力と受信信号周波数成分出力手段の出力とを乗算して出力する周波数成分乗算出力手段とを有するように構成できる。

10

前記本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、周波数成分乗算出力手段は、理想信号の複素共役と受信信号との畳み込み積分を出力する畳み込み積分出力手段と、畳み込み積分出力手段の出力の周波数成分を出力する周波数成分出力手段とを有するように構成できる。

15

前記本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、積和出力手段は、周波数成分乗算出力手段の出力の実部とサンプリング角周波数との積和を出力する実部積和手段と、周波数成分乗算出力手段の出力の虚部とサンプリング角周波数との積和を出力する虚部積和手段と、実部積和手段の出力を実部とし、虚部積和手段の出力を虚部とした複素数を出力する複素数出力手段とを有するように構成できる。

20

前記本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、時間遅延値決定手段は、乗算積和出力手段の出力の偏角と、サンプリング角周波数と、誤差成分を計算するために使用する受信信号の成分の個数で

25

ある誤差計算長とに基づき、時間遅延値を決定するように構成できる。

- 前記本発明の一態様によるシンボル点推定装置によれば、時間遅延値決定手段は、乗算積和出力手段の出力を受け、その偏角を出力する
- 5 偏角出力手段と、偏角出力手段の出力と、サンプリング角周波数と、誤差計算長とに基づき、時間遅延値を計算する時間遅延値計算手段とを有するように構成できる。

- 本発明の他の態様によるシンボル点推定方法によれば、サンプリング
- 10 グ周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定方法であって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力工程と、乗算積和出力工程
- 15 程の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定工程とを備えるように構成される。

- 本発明のさらに他の態様によるプログラムによれば、サンプリング
- 20 周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムであって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力
- 25 する乗算積和出力処理と、乗算積和出力処理の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を

決定する時間遅延値決定処理とをコンピュータに実行させるためのプログラムである。

本発明のさらに他の態様による記録媒体によれば、サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリング点と受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定することにより受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体であって、理想信号の周波数成分の複素共役と受信信号の周波数成分との乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力処理と、乗算積和出力処理の出力に基づき、理想信号と受信信号との間の誤差成分が最小となるように、時間遅延値を決定する時間遅延値決定処理とをコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータによって読み取り可能な記録媒体である。

15

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の実施形態にかかるシンボル点推定装置1の構成を示すブロック図である。

20 第2図は、理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分 EVM を示す図である。

第3図は、周波数成分乗算出力部12の構成を示す図である。

第4図は、周波数成分乗算出力部12の構成の変形例を示す図である。

25 第5図は、積和出力部14の構成を示す図である。

第6図は、時間遅延値決定部20の構成を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を実施するための最良の形態を図面を参照して説明する。

5

図1は、本発明の実施形態にかかるシンボル点推定装置1の構成を示すブロック図である。シンボル点推定装置1は、受信信号 $z(k)$ のシンボル点を推定するためのものである。シンボル点を推定することにより、受信信号 $z(k)$ の復調あるいは受信信号 $z(k)$ の変調解析を行なうことができる。受信信号 $z(k)$ のシンボル点の推定は、サンプリング周波数 f_s でサンプリングされた受信信号 $z(k)$ のサンプリング点と受信信号 $z(k)$ のシンボル点との間の時間遅延値 τ を決定することにより行なうことができる。

15 シンボル点推定装置1は、乗算積和出力部10、時間遅延値決定部20を備える。

乗算積和出力部10は、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ と受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ との乗算結果 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega (=2\pi f_s/N)$ との積和 $Ae^{j\theta}$ を出力する。ただし、 N は後述するように、EVM計算長である。また、理想信号 $r(k)$ は受信信号 $z(k)$ から作成されたものである。なお、EVM(error vector magnitude)は、図2に示すように、理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分である。EVMは下記の式(1)のように定義さ
25 れる。ただし、 N はEVM計算長である。

【数 1】

$$EVM = \sqrt{\frac{\sum_{k=0}^{N-1} |z_k - r_k|^2}{\sum_{k=0}^{N-1} |r_k|^2}} \times 100 \quad [\%rms] \quad (1)$$

- 5 乗算積和出力部 10 は、周波数成分乗算出力部 12、積和出力部 14 を有する。

周波数成分乗算出力部 12 は、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ と受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ との $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ を出力する。周波数成分乗算出力部 12 の構成を図 3 に示す。周波数成分乗算出力部 12 は、FFT 部（理想信号周波数成分出力手段）122、FFT 部（受信信号周波数成分出力手段）124、複素共役出力部 126、乗算器（周波数成分乗算出力手段）128 を有する。

- 15 FFT 部（理想信号周波数成分出力手段）122 は、理想信号 $r(k)$ を FFT(fast Fourier transform) し、その結果を出力する。理想信号 $r(k)$ を FFT した結果が、理想信号 $r(k)$ の周波数成分 $R(n)$ である。

FFT 部（受信信号周波数成分出力手段）124 は、受信信号 $z(k)$ を FFT(fast Fourier transform) し、その結果を出力する。受信信号 $z(k)$ を FFT した結果が、受信信号 $z(k)$ の周波数成分 $Z(n)$ である。

複素共役出力部 126 は、FFT 部（理想信号周波数成分出力手段）122 の出力 $R(n)$ の複素共役 $R(n)^*$ を出力する。

乗算器（周波数成分乗算出力手段）128は、複素共役出力部126の出力 $R(n)^*$ とFFT部（受信信号周波数成分出力手段）124の出力 $Z(n)$ と乗算して出力する。この出力が、 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ である。

5

なお、周波数成分乗算出力部12の構成の変形例を図4に示す。図4に示すように、周波数成分乗算出力部12は、複素共役出力部121、畳み込み積分出力部123、FFT部（周波数成分出力手段）125を有する。

10

複素共役出力部121は、理想信号 $r(k)$ の複素共役 $r(k)^*$ を出力する。

畳み込み積分出力部123は、複素共役出力部121の出力 $r(k)^*$ と、受信信号 $z(k)$ との畳み込み積分を出力する。

15

FFT部（周波数成分出力手段）125は、畳み込み積分出力部123の出力をFFT(fast Fourier transform)し、その結果を出力する。畳み込み積分出力部123の出力をFFTした結果が、 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ となる。

20

積和出力部14は、周波数成分乗算出力部12の出力 $Y(n)$ とサンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和 $Ae^{j\theta}$ を出力する。

積和出力部14の構成を図5に示す。積和出力部14は、実部取得部141、実部積和部142、虚部取得部143、虚部積和部144、複素数出力部146を有する。

実部取得部 1 4 1 は、 $Y(n)$ の実部 $I(n)$ を取得する。

5 実部積和部 1 4 2 は、 $I(n)$ とサンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和を
出力する。 $I(n)$ と $\Delta\omega$ との積和は下記の式 (2) のように定義される。

【数 2】

$$\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} n \Delta\omega I(n) \quad (2)$$

10

虚部取得部 1 4 3 は、 $Y(n)$ の虚部 $Q(n)$ を取得する。

虚部積和部 1 4 4 は、 $Q(n)$ とサンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和を
出力する。 $Q(n)$ と $\Delta\omega$ との積和は下記の式 (3) のように定義される。

15

【数 3】

$$\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} n \Delta\omega Q(n) \quad (3)$$

20 複素数出力部 1 4 6 は、実部積和部 1 4 2 の出力を実部とし、虚部
積和部 1 4 4 の出力を虚部とした複素数を出力する。複素数出力部 1
4 6 の出力が $Ae^{j\theta}$ である。複素数出力部 1 4 6 は、乗算器 1 4 6 a、
加算器 1 4 6 b を有する。乗算器 1 4 6 a は、虚部積和部 1 4 4 の出
力に j (ただし、 $j^2=-1$) を乗じて、虚数とする。加算器 1 4 6 b は、

10

実部積和部 1 4 2 の出力に、乗算器 1 4 6 a の出力を加える。加算器 1 4 6 b の出力が $Ae^{j\theta}$ である。

時間遅延値決定部 2 0 は、乗算積和出力部 1 0 の出力 $Ae^{j\theta}$ に基づき、
5 理想信号 $r(k)$ と受信信号 $z(k)$ との間の誤差成分 (EVM) が最小となるように、時間遅延値 τ を決定する。

EVM は、下記の式 (4) により定義されるエラー成分 ε を正規化し、ルートをとったものである。

10

【数 4】

$$\varepsilon = \sum_{k=0}^{N-1} |z(k-\tau) - r(k)|^2$$

15

$$= \sum_{k=0}^{N-1} |z(k-\tau)|^2 + \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 - 2 \operatorname{Re} \left[\sum_{k=0}^{N-1} z(k-\tau) r^*(k) \right] \quad (4)$$

よって、EVM を最小とするためには、エラー成分 ε を最小とすればよい。エラー成分 ε が最小となる場合、下記の式 (5) が成立する。すなわち、エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値が 0 となる。

20

【数 5】

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = 0 \quad (5)$$

よって、式（５）を時間遅延値 τ について解けば、EVM が最小となるような時間遅延値 τ が決定できる。式（５）を時間遅延値 τ について解くことにより、式（６）を得る（証明は後述する）。

5 【数 6】

$$\tau = \frac{4\theta}{\Delta\omega N} \quad (6)$$

よって、時間遅延値決定部 20 は、乗算積和出力部 10 の出力 $Ae^{j\theta}$ の偏角 θ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ と、EVM 計算長 N とに基づき、時間遅延値 τ を決定できる。

時間遅延値決定部 20 の構成を図 6 に示す。時間遅延値決定部 20 は、偏角出力部 22、時間遅延値計算部 24 を有する。

15

偏角出力部 22 は、乗算積和出力部 10 の出力 $Ae^{j\theta}$ を受け、その偏角 θ を出力する。時間遅延値計算部 24 は、偏角出力部 22 の出力 θ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ と、誤差計算長 N とに基づき、時間遅延値 τ を計算する。具体的には、式（６）の右辺に、 θ 、 $\Delta\omega$ 、 N を代入して、時間遅延値 τ を計算する。このようにして決定された時間遅延値 τ は、式（５）を成立させるので、エラー成分 ε を最小とすることができる。よって、誤差成分（EVM）を最小にできる。

20

次に、本発明の実施形態の動作を説明する。

25

まず、受信信号 $z(k)$ から理想信号 $r(k)$ を作成する。そして、受信信号 $z(k)$ および理想信号 $r(k)$ を乗算積和出力部 10 の周波数成分乗算出力部 12 に与える。周波数成分乗算出力部 12 は、 $Y(n) = Z(n)R(n)^*$ を出力する。 $Y(n)$ は、積和出力部 14 により、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ との積和をとられて、 $Ae^{j\theta}$ となって出力される。

$Ae^{j\theta}$ は時間遅延値決定部 20 に与えられる。時間遅延値決定部 20 は、 $Ae^{j\theta}$ の偏角 θ と、サンプリング角周波数 $\Delta\omega$ と、EVM 計算長 N とに基づき、時間遅延値 τ を決定する。決定された時間遅延値 τ によれば、EVM を最小にすることができる。

本発明の実施形態によれば、受信信号 $z(k)$ および理想信号 $r(k)$ の周波数成分 ($Z(n)$ 、 $R(n)$) を利用して、時間遅延値 τ を決定できる。そして、時間遅延値 τ を利用して、受信信号 $z(k)$ のシンボル点の推定を行なうことができる。ここで、周波数成分 ($Z(n)$ 、 $R(n)$) を利用したため、従来のように時間成分 ($z(k)$ 、 $r(k)$) を利用する場合に比べて、受信信号 $z(k)$ のシンボル点の推定をより正確に行なうことができる。

また、上記の実施形態は、以下のようにして実現できる。CPU、ハードディスク、メディア（フロッピー（登録商標）ディスク、CD-ROM など）読み取り装置を備えたコンピュータのメディア読み取り装置に、上記の各部分（例えば、乗算積和出力部 10 および時間遅延値決定部 20）を実現するプログラムを記録したメディアを読み取らせて、ハードディスクにインストールする。このような方法でも、上記の機能を実現できる。

[式(5)から式(6)が導かれることの証明]

まず、エラー成分 ε を、理想信号の周波数成分 $R(n)$ および受信信号の周波数成分 $Z(n)$ を用いて表す。

- 5 まず、 z および r の離散フーリエ変換対は、 $z(k) \Leftrightarrow Z(n)$ 、 $r(k) \Leftrightarrow R(n)$ である。このとき、Parseval の等式より、下記の式(7)が成立する。

【数 7】

$$\left. \begin{aligned}
 10 \quad \sum_{k=0}^{N-1} |z(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |Z(n)|^2 \\
 \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} |R(n)|^2 \\
 \sum_{k=0}^{N-1} z(k)r^*(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} Z(n)R^*(n)
 \end{aligned} \right\} (7)$$

15

ここで、 $Z(n)$ 、 $R(n)$ は、 $Z(n) = Z(n-N)$ 、 $R(n) = R(n-N)$ が成り立つので、式(7)は下記の式(8)のように書き直せる。

20

【数 8】

$$\begin{aligned}
 \sum_{k=0}^{N-1} |z(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 \\
 \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 &= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 \\
 \sum_{k=0}^{N-1} z(k)r^*(k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} Z(n)R^*(n)
 \end{aligned} \quad (8)$$

また、時間軸推移の定理から、下記の式（9）が成り立つ。

【数 9】

$$z(k-\tau) \Leftrightarrow e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n) \quad (9)$$

式（8）、（9）を、エラー成分 ε を定義した式（4）に代入すると、下記の式（10）のようになる。

【数 10】

$$\varepsilon = \sum_{k=0}^{N-1} |z(k-\tau)|^2 + \sum_{k=0}^{N-1} |r(k)|^2 - 2\operatorname{Re} \left[\sum_{k=0}^{N-1} z(k-\tau)r^*(k) \right]$$

15

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n) R^*(n) \right] \\
&= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Z(n) R^*(n) \right] \\
&= \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (10)
\end{aligned}$$

ここで、式(10)の第3項を変形して、下記の式(11)を得る。

【数11】

10

$$\operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] = \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (11)$$

式(11)は、実部のみの関係であり、虚部は関係が無い。よって、式(11)の各項について複素共役をとっても、式(11)は成立する。そこで、式(11)の右辺の第1項について、複素共役をとって、式(11)を変形し、下記の式(12)を得る。

【数12】

$$\operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] = \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{-1} \{e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n)\}^* + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right]$$

20

16

$$\begin{aligned}
&= \operatorname{Re} \left[\sum_{n=-N/2}^{-1} e^{jn\Delta\omega\tau} Y^*(n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \\
&= \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (12)
\end{aligned}$$

5 式(10)に式(12)を代入すると、エラー成分 ε は下記の式(13)のように表される。

【数13】

$$10 \quad \varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |Z(n)|^2 + \frac{1}{N} \sum_{n=-N/2}^{N/2-1} |R(n)|^2 - \frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right] \quad (13)$$

次に、エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値(式(5)の左辺)を求める。

15

エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値は、下記の式(14)のようになる。

【数14】

20

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} = -\frac{2}{N} \frac{\partial \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} Y(n) \right]}{\partial \tau}$$

17

$$\begin{aligned}
&= -\frac{2}{N} \operatorname{Re} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} (-jn\Delta\omega) Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} (-jn\Delta\omega) Y(n) \right] \\
&= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[\sum_{n=1}^{N/2} e^{-jn\Delta\omega\tau} n\Delta\omega Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} e^{-jn\Delta\omega\tau} n\Delta\omega Y(n) \right] \quad (14)
\end{aligned}$$

5 ここで、時間遅延値 τ は、ある程度小さいので、下記の式 (15) のような関係が $n = 0 \sim N/2$ に対して成立する。

【数 15】

$$10 \quad n\Delta\omega\tau = \frac{N}{4} \Delta\omega\tau \quad (15)$$

式 (14) に式 (15) を代入して、下記の式 (16) を得る。

【数 16】

15

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} &= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[e^{-j\frac{N}{4}\Delta\omega\tau} \left\{ \sum_{n=1}^{N/2} n\Delta\omega Y^*(-n) + \sum_{n=0}^{N/2-1} n\Delta\omega Y(n) \right\} \right] \\
&= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[e^{-j\frac{N}{4}\Delta\omega\tau} \left\{ \sum_{n=-N/2}^{N/2} |n| \Delta\omega I(n) + j \sum_{n=-N/2}^{N/2} n \Delta\omega Q(n) \right\} \right] \quad (16)
\end{aligned}$$

20 ここで、積和出力部 14 の定義によれば、

【数 1 7】

$$\sum_{n=-N/2}^{N/2} n \Delta \omega I(n) + j \sum_{n=-N/2}^{N/2} n \Delta \omega Q(n) \equiv A e^{j\theta} \quad (17)$$

5 である。

よって、式 (16) を下記の式 (18) のように書き直せる。

【数 1 8】

10

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} &= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[e^{-j \frac{N}{4} \Delta \omega \tau} A e^{j\theta} \right] \\ &= -\frac{2}{N} \operatorname{Im} \left[A e^{-j \left(\frac{N}{4} \Delta \omega \tau - \theta \right)} \right] \end{aligned} \quad (18)$$

15 最後に、エラー成分 ε を時間遅延値 τ で偏微分した値が 0 となる τ を求める。

式 (18) が 0 になるには、下記の式 (19) が成立すればよい。
複素数の偏角が 0° であれば、虚部が 0 になるからである。

20

【数 1 9】

$$\frac{N}{4} \Delta \omega \tau - \theta = 0 \quad (19)$$

よって、式（１９）を τ について解けば、下記の式（２０）を得ることができる。

5 【数 ２０】

$$\tau = \frac{4\theta}{\Delta\omega N} \quad (20)$$

式（２０）は式（６）と同一である。

10

よって、式（５）から式（６）を導くことができる。

【証明終わり】

請 求 の 範 囲

1. サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリ
グ点と前記受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定すること
5 により前記受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定装置であ
って、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との
乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力
手段と、

- 10 前記乗算積和出力手段の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信
号との間の誤差成分が最小となるように、前記時間遅延値を決定する
時間遅延値決定手段と、

を備えたシンボル点推定装置。

- 15 2. 請求項 1 に記載のシンボル点推定装置であって、
前記乗算積和出力手段は、

前記理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分
との乗算結果を出力する周波数成分乗算出力手段と、

- 前記周波数成分乗算出力手段の出力と前記サンプリング角周波数と
20 の積和を出力する積和出力手段と、
を有するシンボル点推定装置。

3. 請求項 2 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記周波数成分乗算出力手段は、

- 25 前記理想信号の周波数成分を出力する理想信号周波数成分出力手段
と、

前記受信信号の周波数成分を出力する受信信号周波数成分出力手段と、

前記理想信号周波数成分出力手段の出力の複素共役を出力する複素共役出力手段と、

- 5 前記複素共役出力手段の出力と前記受信信号周波数成分出力手段の出力とを乗算して出力する周波数成分乗算出力手段と、
を有するシンボル点推定装置。

4. 請求項 2 に記載のシンボル点推定装置であって、

- 10 前記周波数成分乗算出力手段は、
前記理想信号の複素共役と前記受信信号との畳み込み積分を出力する畳み込み積分出力手段と、
前記畳み込み積分出力手段の出力の周波数成分を出力する周波数成分出力手段と、
15 を有するシンボル点推定装置。

5. 請求項 2 に記載のシンボル点推定装置であって、

- 前記積和出力手段は、
前記周波数成分乗算出力手段の出力の実部と前記サンプリング角周
20 波数との積和を出力する実部積和手段と、
前記周波数成分乗算出力手段の出力の虚部と前記サンプリング角周波数との積和を出力する虚部積和手段と、
前記実部積和手段の出力を実部とし、前記虚部積和手段の出力を虚部とした複素数を出力する複素数出力手段と、
25 を有するシンボル点推定装置。

6. 請求項 1 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記時間遅延値決定手段は、前記乗算積和出力手段の出力の偏角と、
サンプリング角周波数と、前記誤差成分を計算するために使用する前
記受信信号の成分の個数である誤差計算長とに基づき、前記時間遅延
5 値を決定する、

シンボル点推定装置。

7. 請求項 6 に記載のシンボル点推定装置であって、

前記時間遅延値決定手段は、

10 前記乗算積和出力手段の出力を受け、その偏角を出力する偏角出力
手段と、

前記偏角出力手段の出力と、前記サンプリング角周波数と、前記誤
差計算長とに基づき、前記時間遅延値を計算する時間遅延値計算手段
と、

15 を有するシンボル点推定装置。

8. サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプリン
グ点と前記受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定すること
により前記受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定方法であ
20 って、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との
乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力
工程と、

前記乗算積和出力工程の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信
25 号との間の誤差成分が最小となるように、前記時間遅延値を決定する
時間遅延値決定工程と、

を備えたシンボル点推定方法。

9. サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプ
グ点と前記受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定すること
5 により前記受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定処理をコ
ンピュータに実行させるためのプログラムであって、

理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との
乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力
処理と、

- 10 前記乗算積和出力処理の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信
号との間の誤差成分が最小となるように、前記時間遅延値を決定する
時間遅延値決定処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラム。

- 15 10. サンプリング周波数でサンプリングされた受信信号のサンプ
グ点と前記受信信号のシンボル点との間の時間遅延値を決定すること
により前記受信信号のシンボル点を推定するシンボル点推定処理を
コンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュータ
によって読み取り可能な記録媒体であって、

- 20 理想信号の周波数成分の複素共役と前記受信信号の周波数成分との
乗算結果と、サンプリング角周波数との積和を出力する乗算積和出力
処理と、

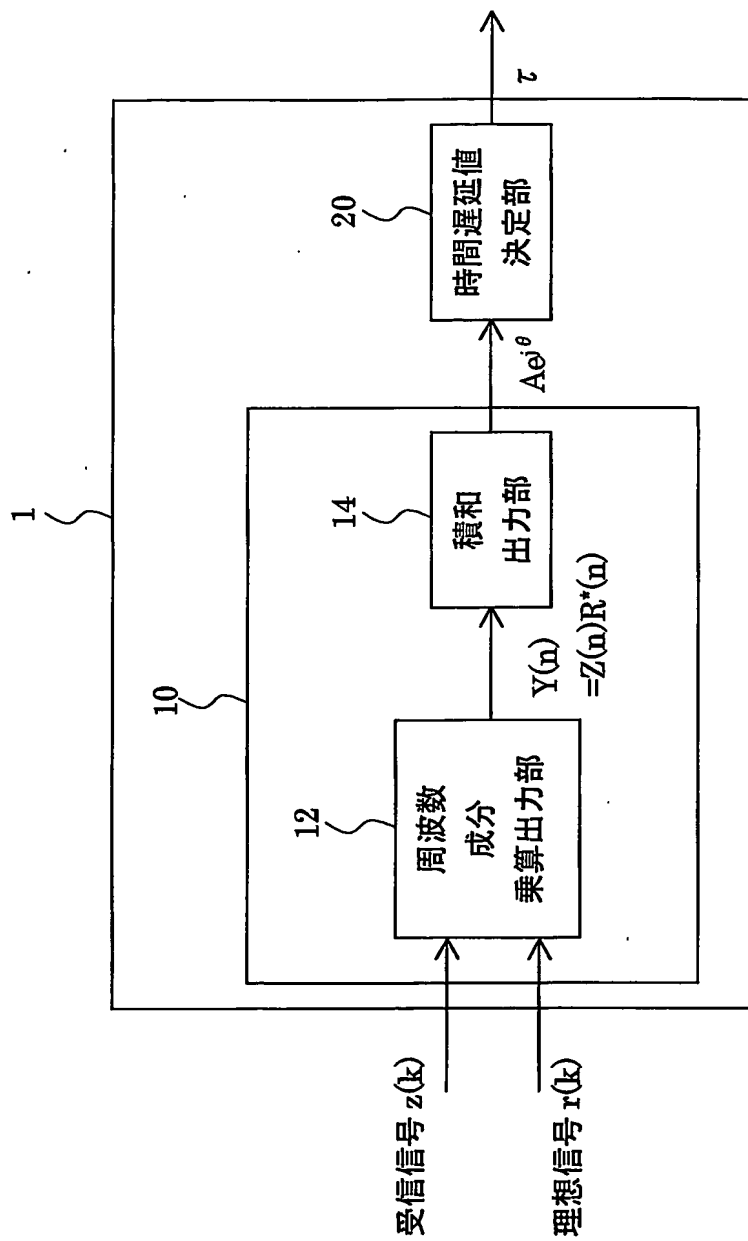
前記乗算積和出力処理の出力に基づき、前記理想信号と前記受信信
号との間の誤差成分が最小となるように、前記時間遅延値を決定する

- 25 時間遅延値決定処理と、

をコンピュータに実行させるためのプログラムを記録したコンピュ

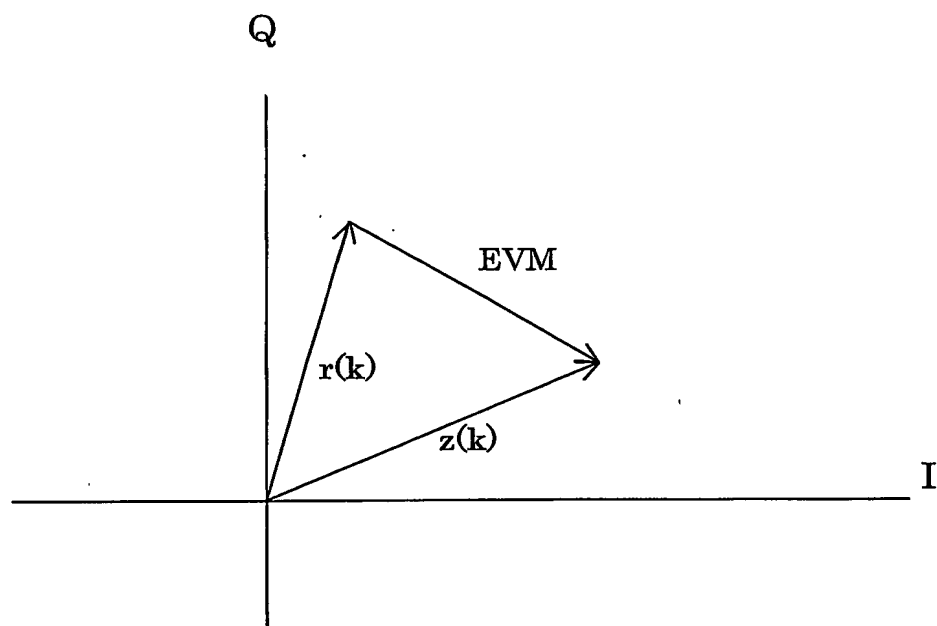
一タによって読み取り可能な記録媒体。

第1図

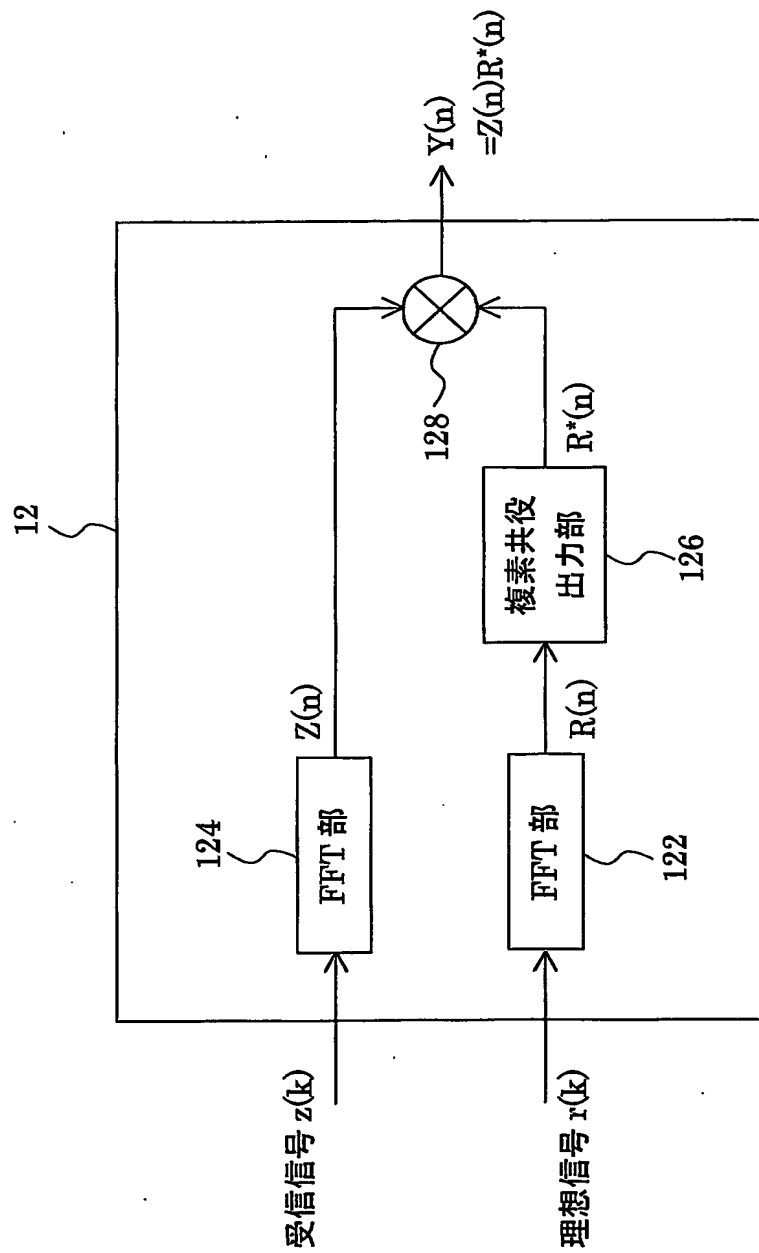


2/6

第 2 図

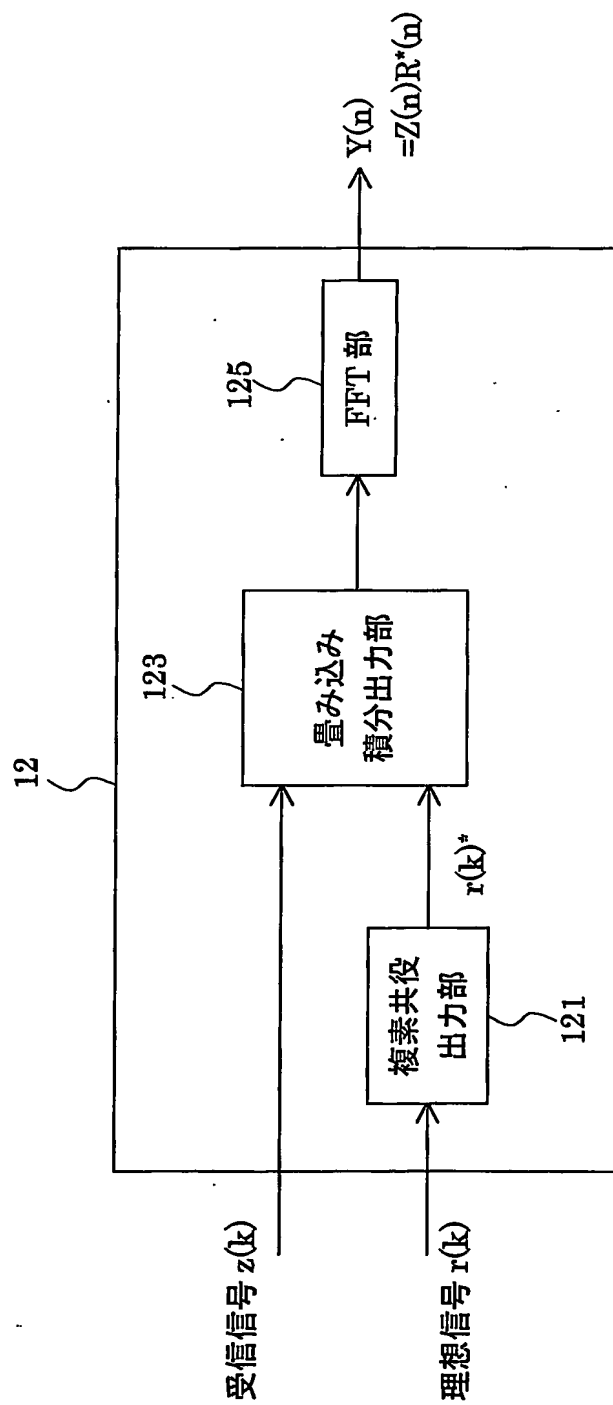


第 3 図

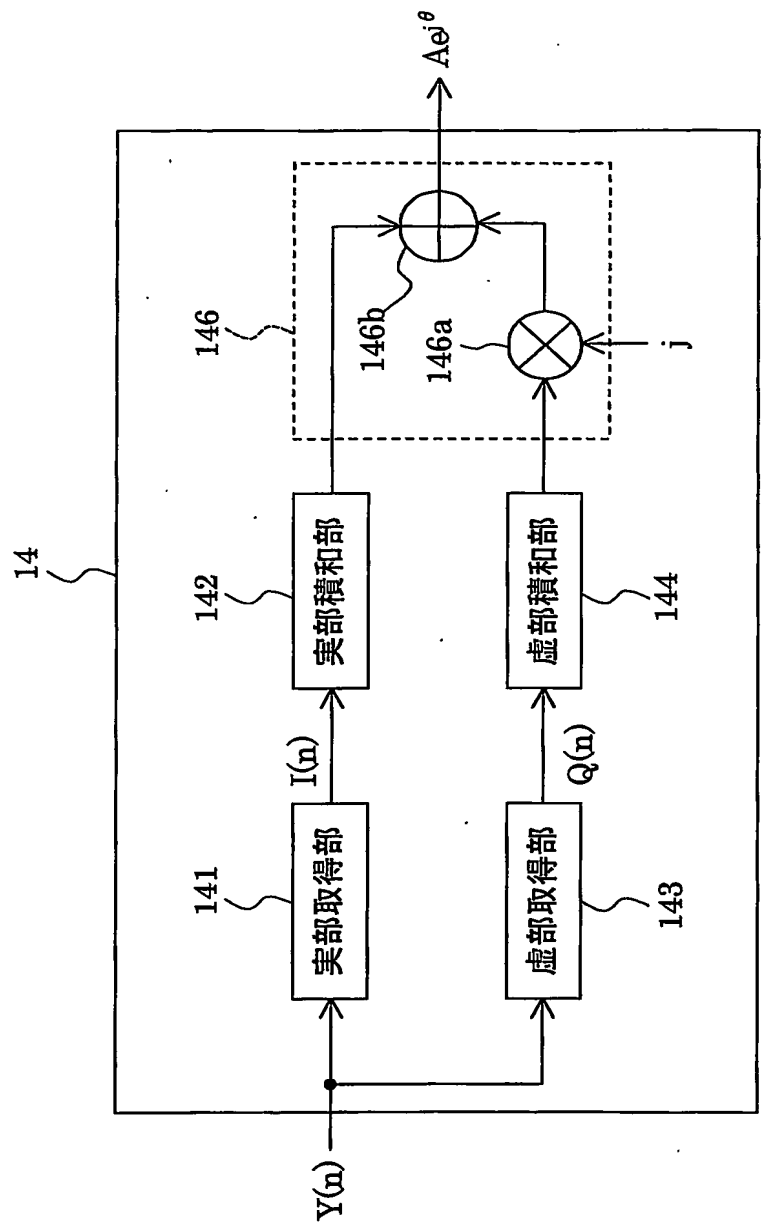


4/6

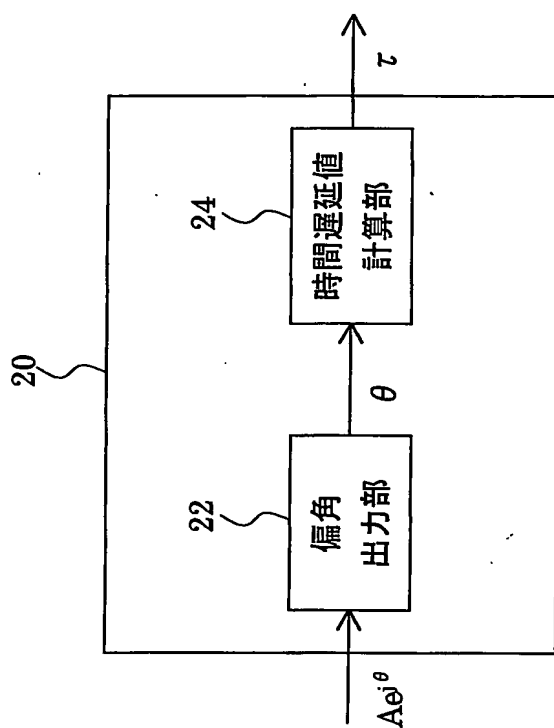
第 4 図



第 5 図



第 6 図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016281

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H04L27/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H04L27/00-27/38

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2002-94584 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 29 March, 2002 (29.03.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-10
A	JP 11-261443 A (Alps Electric Co., Ltd.), 24 September, 1999 (24.09.99), Full text; all drawings (Family: none)	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 January, 2005 (18.01.05)

Date of mailing of the international search report
01 February, 2005 (01.02.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04L 27/22

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ H04L 27/00 - 27/38

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2002-94584 A (松下電器産業株式会社) 2002. 03. 29, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 11-261443 A (アルプス電気株式会社) 1999. 09. 24, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-10

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
18. 01. 2005

国際調査報告の発送日
01. 2. 2005

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号 100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
藤井 浩

5 K 8 6 2 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3555